

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-291265
(P2001-291265A)

(43) 公開日 平成13年10月19日 (2001. 10. 19)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード*(参考)	
G 1 1 B	7/135	G 1 1 B	7/135	A
	7/0033		7/0033	
	7/004		7/004	Z
	7/14		7/14	
H 0 1 S	5/18	H 0 1 S	5/18	
審査請求 有 請求項の数75 O L (全 15 頁)				

(21) 出願番号 特願2001-43477(P2001-43477)

(22) 出願日 平成13年2月20日 (2001. 2. 20)

(31) 優先権主張番号 60/185239

(32) 優先日 平成12年2月28日 (2000. 2. 28)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(31) 優先権主張番号 09/721694

(32) 優先日 平成12年11月27日 (2000. 11. 27)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 阪口 光人

アメリカ合衆国、 ニュージャージー

08540、 プリンストン、 インディペン

デンス ウェイ 4 エヌ・イー・シー・

リサーチ・インスティテューテュ・インク

内

(74) 代理人 100088328

弁理士 金田 暢之 (外2名)

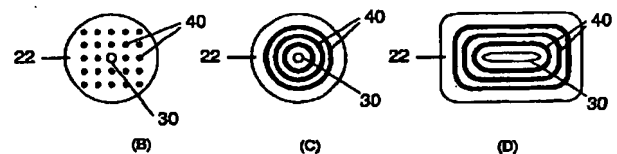
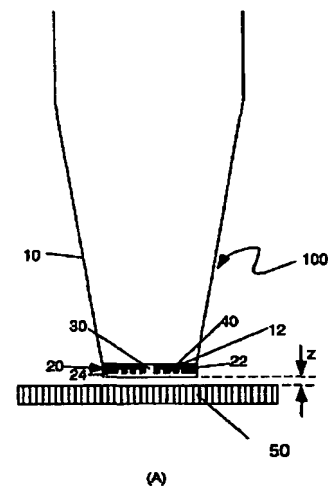
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光データ記憶媒体用の表面プラズモン増幅による読み出し／書き込みヘッド

(57) 【要約】

【課題】 短いビット長寸法を備え、高データ密度と高速の読み出し／書き込み速度をもたらし、厳しい減衰を受けず、相変化媒体のような光記憶媒体上のデータの書き込み及び読み出しをともに可能にする、近視野光学系を用いる読み出し／書き込みヘッドを提供する。

【解決手段】 導波路10の端面12にプラズモン増幅デバイス20を設ける。プラズモン増幅デバイス20は、貫通して設けられた波長以下の直径のアパーチャー30を有する金属膜22からなり、金属膜22は、少なくとも一方の表面上に設けられた周期的な表面トポグラフィ40を有する。金属膜22の表面の一方に入射する光は金属膜の表面の少なくとも一方での表面プラズモン・モードと相互作用し、これにより、アパーチャー30を通る透過光が増幅される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 端面を有する導波路と、
前記導波路の前記端面の上に設けられ、第1の表面と第2の表面を有する金属膜を有するプラズモン増幅デバイスと、を有し、

前記第1の表面は前記導波路の端面に固定されており、前記金属膜は前記金属膜を通して設けられたアパーチャーを有し、前記金属膜は前記金属膜の前記第1及び第2の表面の少なくとも一方の上に設けられた周期的な表面トポグラフィー(topography)を有し、前記金属膜の前記表面の一方に入射する光は前記金属膜の前記表面の少なくとも一方での表面プラズモン・モードと相互作用し、それにより、前記光記憶媒体に導かれた及び／または前記光記憶媒体から集められ前記金属膜内の前記アパーチャーを通る透過光を増幅する、光記憶媒体用の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項2】 前記光記憶媒体からの読み出し動作及び前記光記憶媒体への書き込み動作の少なくとも一方を、前記読み出し／書き込みヘッドを介して伝送される光を利用して行うように、前記金属膜の前記第2の表面は前記光記憶媒体にごく近接して配置されている、請求項1に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項3】 増幅された透過光が前記光記憶媒体に向けて前記光記憶媒体上で書き込み動作を行うように、前記導波路から前記プラズモン増幅デバイスを介して光が伝送される、請求項2に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項4】 増幅された透過光が前記光記憶媒体に向けて前記光記憶媒体を照らし前記光記憶媒体からの読み出し動作を行うように、前記プラズモン増幅デバイスを介して前記導波路から光が伝送される、請求項2に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項5】 前記光記憶媒体により反射され、前記光記憶媒体により屈折され、あるいは前記光記憶媒体を透過した光が、増幅された透過量で、前記プラズモン増幅デバイスを介して前記導波路に伝送され、前記光記憶媒体からの読み出し動作が行われる、請求項2に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項6】 前記周期的な表面トポグラフィーは、複数の表面特徴(feature)からなる請求項1に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項7】 前記表面特徴は、小さなくぼみ(dimple)、半球形の突出部、溝、突起(rib)、同心のくぼんだ環、及び同心の突起した環からなる群から選択される、請求項6に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項8】 前記周期的な表面トポグラフィーは、前記金属膜の前記第1の表面上にのみ設けられる請求項1に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項9】 前記周期的な表面トポグラフィーは、前記金属膜の前記第1の表面上及び前記第2の表面上の両

方に設けられる請求項1に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項10】 前記導波路は光ファイバである請求項1に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項11】 前記導波路は、ほぼ剛体である光透過性の半導体である請求項1に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項12】 前記導波路は、ベース、ほぼ平坦な頂面、及び複数のファセットを有する切頭体構造を有し、各ファセットは前記ベースから前記ほぼ平坦な頂面へ延びているほぼ平面の表面であり、前記プラズモン増幅デバイスは前記切頭体構造の前記平坦な頂面上に設けられている、請求項11に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項13】 前記切頭体構造の前記ベースは正方形であり、前記切頭体は4つのファセットを有する請求項12に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項14】 前記アパーチャーは、円筒状に形成されている請求項1に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項15】 前記アパーチャーは、スリット状に形成されている請求項1に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項16】 前記金属膜の前記第2の表面に固定された光学的に透明なオーバー・レイヤをさらに有する請求項1に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項17】 前記導波路は屈折率を有し、前記オーバー・レイヤは屈折率を有し、前記オーバー・レイヤの前記屈折率は前記導波路の屈折率にほぼ等しい、請求項16に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項18】 前記読み出し／書き込みヘッドと一体の光源をさらに有する請求項1に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項19】 光記憶媒体用の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体であって、それぞれ端面を有し、すべての端面はほぼ同じ平面内に配置されている複数の導波路と、前記各導波路の前記端面の上に設けられ、それぞれ第1の表面と第2の表面を有する金属膜を有するプラズモン増幅デバイスと、を有し、

前記第1の表面は対応する前記導波路の端面に固定されており、前記金属膜は前記金属膜を通して設けられたアパーチャーを有し、前記金属膜は前記金属膜の前記第1及び第2の表面の少なくとも一方の上に設けられた周期的な表面トポグラフィー(topography)を有し、前記金属膜の前記表面の一方に入射する光は前記金属膜の前記表面の少なくとも一方での表面プラズモン・モードと相互作用し、それにより、前記光記憶媒体に導かれた及び／または前記光記憶媒体から集められた前記金属膜内の前記アパーチャーを通る透過光を増幅する、正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

3

【請求項20】 前記光記憶媒体からの読み出し動作及び前記光記憶媒体への書き込み動作の少なくとも一方を、このような金属膜に対応する前記読み出し／書き込みヘッドを介して伝送される光を利用して行うように、前記金属膜の前記第2の表面は前記光記憶媒体にごく近接して配置されている、請求項19に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項21】 増幅された透過光が前記光記憶媒体に向けられて前記光記憶媒体上で書き込み動作を行うように、前記各導波路から対応する前記プラズモン増幅デバイスを介して光が伝送される、請求項20に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項22】 増幅された透過光が前記光記憶媒体に向けられて前記光記憶媒体を照らし前記光記憶媒体からの読み出し動作を行うように、前記各導波路から対応する前記プラズモン増幅デバイスを介して光が伝送される、請求項20に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項23】 前記光記憶媒体により反射され、前記光記憶媒体により屈折され、あるいは前記光記憶媒体を透過した光が、増幅された透過量で、前記複数のプラズモン増幅デバイスの少なくとも1つを介して対応する前記導波路に伝送され、前記光記憶媒体からの読み出し動作が行われる、請求項20に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項24】 前記周期的な表面トポグラフィーは、複数の表面特徴(feature)からなる請求項19に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項25】 前記表面特徴は、小さなくぼみ(dimple)、半球形の突出部、溝、突起(rib)、同心のくぼんだ環、及び同心の突起した環からなる群から選択される、請求項24に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項26】 前記周期的な表面トポグラフィーは、前記金属膜の前記第1の表面上にのみ設けられる請求項19に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項27】 前記周期的な表面トポグラフィーは、前記金属膜の前記第1の表面上及び前記第2の表面上の両方に設けられる請求項19に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項28】 前記各導波路は光ファイバである請求項19に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項29】 前記各導波路は、ほぼ剛体である光学的に透明な半導体である請求項19に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項30】 前記各アパーチャーは、円筒状に形成されている請求項19に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

4

【請求項31】 前記各アパーチャーは、スリット状に形成されている請求項19に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項32】 前記各プラズモン増幅デバイスの前記金属膜の前記第2の表面に固定された光学的に透明なオーバー・レイヤをさらに有する請求項19に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項33】 前記各導波路は屈折率を有し、前記各プラズモン増幅デバイスの前記オーバー・レイヤは屈折率を有し、前記各プラズモン増幅デバイスの前記オーバー・レイヤの屈折率は、そのプラズモン増幅デバイスに対応する前記導波路の前記屈折率にほぼ等しい、請求項32に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項34】 単一の金属膜が、前記複数のプラズモン増幅デバイスのそれぞれの前記金属膜の全体を形成する請求項19に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項35】 前記複数の導波路は、単一のほぼ剛体である光学的に透明な半導体ウエハで形成されている請求項19に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項36】 前記複数の導波路の端面は、滑らかさ及び正確なアライメントをもたらすように劈開される、請求項35に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項37】 前記複数の導波路のそれぞれは、ベース、ほぼ平坦な頂面、及び複数のファセットを有する切頭体構造を有し、各ファセットは前記ベースから前記ほぼ平坦な頂面へ延びているほぼ平面の表面であり、前記各プラズモン増幅デバイスは前記切頭体構造の前記平坦な頂面上に設けられている、請求項35に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項38】 前記切頭体構造の前記ベースは正方形であり、前記切頭体は4つのファセットを有する請求項37に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項39】 前記各読み出し／書き込みヘッドと一体の光源をさらに有する請求項19に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項40】 光記憶媒体に向かって光を導く光源と、前記光源と前記光記憶媒体の間に設けられ、第1の表面と第2の表面を有する金属膜を有するプラズモン増幅デバイスと、を有し、

前記第1の表面は前記光源に向かって配置されており前記第2の表面は前記光記憶媒体に向かって配置されており、前記金属膜は前記金属膜を通して設けられたアパーチャーを有し、前記金属膜は前記金属膜の前記第1及び第2の表面の少なくとも1方の上に設けられた周期的な

10

20

30

40

50

5

表面トポグラフィー(topography)を有し、前記金属膜の前記第1の表面に入射する前記光源からの光は前記金属膜の前記表面の少なくとも一方での表面プラズモン・モードと相互作用し、それにより、前記光記憶媒体に導かれた前記金属膜内の前記アパーチャーを通る透過光を増幅する、光記憶媒体用の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項41】 前記光源はレーザからなる請求項40に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項42】 前記レーザは、半導体レーザ、端面発光半導体レーザ、垂直共振器面発光レーザ(VCSSEL; vertical cavity surface-emitting laser)、固体レーザ及びファイバ・レーザからなる群から選択されたものである請求項41に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項43】 前記レーザは、後方側の分布ブラッグ反射器(DBR; distributed Bragg reflector)と前記プラズモン増幅デバイスにより画定される垂直共振器を含む垂直共振器面発光レーザ(VCSSEL; vertical cavity surface-emitting laser)を有する請求項41に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項44】 前記レーザは出力鏡及び後部鏡を有し、前記プラズモン増幅デバイスは前記出力鏡の上に設けられる請求項41に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項45】 前記光記憶媒体により反射され前記光記憶媒体により屈折されあるいは前記光記憶媒体を透過した、前記プラズモン増幅デバイスにより増幅された前記光源からの光を集める光コレクタをさらに有する請求項40に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項46】 前記光コレクタは、近視野モードで前記光を集める請求項45に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項47】 前記光コレクタは、遠視野モードで前記光を集める請求項45に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項48】 前記光コレクタは、前記光記憶媒体に関し、前記光源と同じ側に配置されている請求項45に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項49】 前記光コレクタは、前記光記憶媒体に関し、前記光源とおは反対側に配置されている請求項45に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項50】 前記周期的な表面トポグラフィーは、複数の表面特徴(feature)からなる請求項40に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項51】 前記表面特徴は、小さなくぼみ(dimple)、半球形の突出部、溝、突起(rib)、同心のくぼんだ環、及び同心の突起した環からなる群から選択される、請求項50に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項52】 前記周期的な表面トポグラフィーは、前記金属膜の前記第1の表面上にのみ設けられる請求項

6

40に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項53】 前記周期的な表面トポグラフィーは、前記金属膜の前記第1の表面上及び前記第2の表面上の両方に設けられる請求項40に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項54】 前記アパーチャーは、円筒状に形成されている請求項40に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項55】 前記アパーチャーは、スリット状に形成されている請求項40に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項56】 前記金属膜の前記第2の表面に固定された光学的に透明なオーバー・レイをさらに有する請求項40に記載の読み出し／書き込みヘッド。

【請求項57】 光記憶媒体用の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体であって、前記光記憶媒体に向かって光を導く複数の光源と、前記各光源と前記光記憶媒体の間に設けられ、それぞれ第1の表面と第2の表面を有する金属膜を有するプラズモン増幅デバイスと、を有し、

前記第1の表面は対応する前記光源に向かって配置されており前記第2の表面は前記光記憶媒体に向かって配置されており、前記金属膜は前記金属膜を通して設けられたアパーチャーを有し、前記金属膜は前記金属膜の前記第1及び第2の表面の少なくとも一方の上に設けられた周期的な表面トポグラフィー(topography)を有し、前記金属膜の前記第1の表面に入射する前記光源からの光は前記金属膜の前記表面の少なくとも一方での表面プラズモン・モードと相互作用し、それにより、前記光記憶媒体に導かれた前記金属膜内の前記アパーチャーを通る透過光を増幅する、正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項58】 前記光源の少なくとも1つはレーザからなる請求項57に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項59】 前記レーザは、半導体レーザ、端面発光半導体レーザ、垂直共振器面発光レーザ(VCSSEL; vertical cavity surface emitting laser)、固体レーザ及びファイバ・レーザからなる群から選択されたものである請求項58に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項60】 前記レーザは、後方側の分布ブラッグ反射器(DBR; distributed Bragg reflector)と前記プラズモン増幅デバイスにより画定される垂直共振器を含む垂直共振器面発光レーザ(VCSSEL; vertical cavity surface emitting laser)を有する請求項58に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項61】 前記レーザは出力鏡及び後部鏡を有し、前記プラズモン増幅デバイスは前記出力鏡の上に設

けられる請求項58に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項62】 前記光記憶媒体により反射され前記光記憶媒体により屈折されあるいは前記光記憶媒体を透過した、前記プラズモン増幅デバイスにより増幅された前記各光源からの光を集める光コレクタをさらに有する請求項57に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項63】 前記光コレクタは、近視野モードで前記光を集める請求項62に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項64】 前記光コレクタは、遠視野モードで前記光を集める請求項62に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項65】 前記光コレクタは、前記光記憶媒体に関し、前記光源と同じ側に配置されている請求項62に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項66】 前記光コレクタは、前記光記憶媒体に関し、前記光源とは反対側に配置されている請求項62に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項67】 前記周期的な表面トポグラフィーは、複数の表面特徴(feature)からなる請求項57に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項68】 前記表面特徴は、小さなくぼみ(dimple)、半球形の突出部、溝、突起(rib)、同心のくぼんだ環、及び同心の突起した環からなる群から選択される、請求項67に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項69】 前記周期的な表面トポグラフィーは、前記金属膜の前記第1の表面上にのみ設けられる請求項57に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項70】 前記周期的な表面トポグラフィーは、前記金属膜の前記第1の表面上及び前記第2の表面上の両方に設けられる請求項57に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項71】 前記各アパーチャーは、円筒状に形成されている請求項57に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項72】 前記各アパーチャーは、スリット状に形成されている請求項57に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項73】 前記各プラズモン増幅デバイスの前記金属膜の前記第2の表面に固定された光学的に透明なオーバーレイをさらに有する請求項57に記載の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体。

【請求項74】 端面発光レーザであって、後部鏡と、

出力鏡と、

前記後部鏡と前記出力鏡の間に配置された量子井戸と、前記出力鏡の上に設けられ、第1の表面及び第2の表面を有する金属膜を有するプラズモン増幅デバイスと、を有し、

前記第1の表面は前記量子井戸に向かって配置され前記第2の表面は前記端面発光レーザの出力に向かって配置されており、前記金属膜は前記金属膜を通して設けられたアパーチャーを有し、前記金属膜は前記金属膜の前記第1及び第2の表面の少なくとも一方の上に設けられた周期的な表面トポグラフィー(topography)を有し、前記金属膜の前記第1の表面に入射する光は前記金属膜の前記表面の少なくとも一方での表面プラズモン・モードと相互作用し、それにより、前記端面発光レーザから導かれた前記金属膜内の前記アパーチャーを通る透過光を増幅する、端面発光レーザ。

【請求項75】 垂直共振器面発光レーザ(VCS E L:vertical cavity surface-emitting laser)であって、

20 後方側の分布ブラッグ反射器(DBR:distributed Bragg reflector)と、

前記分布ブラッグ反射器との間で垂直共振器を画定し、第1の表面と第2の表面を有する金属膜を有するプラズモン増幅デバイスと、を有し、

30 前記第1の表面は前記垂直共振器に向かって配置され前記第2の表面は前記垂直共振器面発光レーザの出力に向かって配置されており、前記金属膜は前記金属膜を通して設けられたアパーチャーを有し、前記金属膜は前記金属膜の前記第1及び第2の表面の少なくとも一方の上に設けられた周期的な表面トポグラフィー(topography)を有し、前記金属膜の前記第1の表面に入射する光は前記金属膜の前記表面の少なくとも一方での表面プラズモン・モードと相互作用し、それにより、前記垂直共振器面発光レーザから導かれた前記金属膜内の前記アパーチャーを通る透過光を増幅する、垂直共振器面発光レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、データ記憶装置に関し、特に、金属膜内の波長以下(subwavelength)の大きさのアパーチャー(開口)を介する表面プラズモン増幅光透過(surface plasmon-enhanced optical transmission)を利用する、非常に高いスループットと分解能を有する光データ記憶装置用の読み出し／書き込みデバイスに関する。

【0002】

【背景技術】Ebbesenらへの米国特許第5,973,316号明細書(特開平11-72607号公報)、Kimらへの米国特許第6,040,936号明細書(特開2000-111851号公報)、Ebbesenらへの米国特許第6,052,238号明細書(特開平11-72607号公報)、1998年12月9日に出版されたEbbesenらの米国特

許出願番号第09/208,116号(特開2000-171763号公報)、及び1999年11月5日出願されたKimらの米国特許出願番号第09/435,132号(これらの特許及び特許出願のそれぞれは参考文献として本明細書に包含される)に詳細に説明するように、薄い金属膜(すなわち関心のある波長において導電性かつ不透明である膜)の中に設けられた1つ以上の波長以下の直径のアパーチャーを介する透過光は、アパーチャーを周期的な配列で配置することにより、及び/またはアパーチャーと連係して前記金属膜の上に周期的な表面トポグラフィー(小さなくぼみ(dimple)あるいは突出部のような表面特徴(feature))を設けることにより、大幅に増幅することができる。1,000倍にも達することがあるこの増幅は、導電性の膜に入射する光が表面プラズモン・モードと共鳴的に相互作用するとき起こる。

【0003】CD-ROM(コンパクトディスク読み出し専用メモリ)及びDVD(デジタルビデオディスク)のような光記憶ディスクは、その高いデータ記録密度、コンパクトな設計、ポータビリティ及び頑強性(ロバストさ)により、また特に媒体及び書き込み装置の両方が低価格になりつつあるために、ますます魅力的なデータ記憶媒体になりつつある。光ディスクにより提供される比較的高いデータ密度にもかかわらず、さらに高い密度が望ましいと考えられている。しかし、現在の値を超えて記録密度を増加するためには、データを書き込みあるいは読み取る光ビームのサイズを小さくすることが必要である。書き込み及び読み出しビームの強度も劇的に減少させなければ、これは実行不能であることが証明されており、したがってデータ記憶が不可能となる。さらに、このような光ディスクは、一般に、読み出し速度(光ディスクから読み出すことができるデータの速度)が比較的低い点でも、著しい欠点を通常示す。

【0004】本発明は、高解像度にもかかわらず非常に高いパワー・スループットで、光ディスク上の波長以下のスケールでの読み出し及び書き込みを可能にする光読み出し/書き込みヘッドを提供することにより、両方の課題を是正する。その結果、回折限界により可能とされる線データ密度よりはるかに高い線データ密度(したがって読み出し/書き込み速度)を可能にする。(光ビームの焦点を合わせるためにレンズあるいは他の遠視野集束デバイスを使用するとき、焦点における収束光の「スポット」の寸法は、回折により直径 $\lambda/2$ (λ は光の波長である)に制限される。これは、回折限界として公知の現象である。)より小さいスポットは、光記憶媒体上のより高いデータ記憶密度をもたらす、媒体の与えられた回転速度に対してより高いデータ読み出し速度をもたらす。このような読み出し/書き込みヘッドの1次元配列体を介する多重チャネルの読み出し及び/または書き込みは、データ転送速度をさらに増加させる。さらに、これらの利点は現在市販されているものよりも短い波長

を有するレーザに頼ることなく実現され、したがって本発明は、在庫のあるレーザ装置を使用する実的な応用例を与える。

【0005】現在商業的に使用されている書き換え可能なCD-ROM光ディスクは、相変換媒体上のトラックの上に「ピット(pit)」としてデータを蓄積する。トラックは1.6 μm のピッチを有し、ピット長は0.4 μm から1.2 μm の間で変化する。集束集光光学機器のためにはかなり大きいレンズを使用して書き込み及び読み出しとともに遠視野で行うので、現在使用中のレーザ(CD-ROM用には $\lambda=780\text{nm}$)の回折限界により、ピット長の下限が与えられる。より高いデータ密度は、記憶媒体の複数の層を積み重ねることにより実現される。現在入手可能なDVDディスクは、(0.65GBを収容する)標準のCD-ROMのデータの約8倍までのデータを格納する。さらにより高いデータ密度を得ることが望ましいが、いっそう深刻な課題はデータを読み出す速度であり、これは、現在、ディスク回転の機械的安定性、したがってディスクの回転速度により、制限されている。

【0006】これらの課題を緩和するためには、このような光データ記憶媒体のピット長を大幅に減少させることが望ましい。遠視野光学系(ここでは、読み出し/書き込みヘッドと光記憶媒体の間の距離は光の波長よりはるかに大きい)が使用されれば、最少ピット長は回折限界により与えられる。例えば、青緑色レーザに変えると、約300nmのピット長が可能になるであろう。

【0007】しかし、光データ記憶媒体へのデータの読み出し及び/または書き込みに、(波長以下のサイズのアパーチャーを有する読み出し/書き込みヘッドが、光記憶媒体の上の約数十nmの高さで走査される)近視野光学系が使用できれば、ピット長は、(読み出し/書き込みアパーチャーの寸法によってのみ制限され、)50nm以下とすることが可能であり、高いデータ密度と大幅に高められた書き込み及び/または読み出し速度をもたらす。これらの利点は、従来の赤色ダイオード・レーザ、あるいは安くて信頼性が高く大量に生産することができる赤外ダイオード・レーザを使用しても実現される。付加的な利点は、近視野読み出し/書き込みヘッドを光ファイバあるいは半導体導波路に直接結合することによって、大きくて重いコレクタ・レンズの使用しないで済ませることができるようになり、浮上ヘッドあるいは接触ヘッドの機械的設計を単純化することが可能となることである。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかし、このような小さいアパーチャーを使用すると、先細の光ファイバ先端部のような従来の近視野デバイスを介する伝送は厳しい減衰を受け、その結果は、読み出し用には低く過ぎる信号対雑音比と、書き込みに必要な高い強度の欠如とな

10

20

30

40

50

る。E. Betzig et al., "Near-Field Optics: Microscopy, Spectroscopy, and Surface Modification Beyond the Diffraction Limit (近視野光学機器：回折限界を超える顕微鏡法、分光学及び表面改質)", Science, Vol. 257, pp. 189-194 (1992年)、及び G. A. Valaskovic et al., "Parameter Control, Characterization, and Optimization in the Fabrication of Optical Fiber Near-Field Probes (光ファイバ近視野プローブの製造におけるパラメータ制御、キャラクタリゼーション及び最適化)", Applied Optics, Vol. 34, No. 7, pp. 1215-1227 (1995年)参照。結果として、近視野光学系を使用する実用的な光データ記憶読み出し／書き込みヘッドは、今までに得られていない。

【0009】したがって、短いピット長寸法を備え、したがって高データ密度と高速の読み出し／書き込み速度をもたらす、厳しい減衰を受けず、したがって相変媒体のような光記憶媒体上のデータの書き込み及び読み出しとともに可能にする、近視野光学系を用いる光データ記憶媒体のための読み出し／書き込みヘッドが、必要である。

【0010】本発明の目的は、プラズモン効果で増幅された透過光を提供する光記憶媒体用の読み出し／書き込みヘッドを提供することである。

【0011】本発明の他の目的は、近視野光学系を使用する光記憶媒体用の読み出し／書き込みヘッドを提供することである。

【0012】本発明のさらに目的とするところは、光記憶媒体のピット長の寸法を短縮し、したがって高いデータ密度と高い読み出し／書き込み速度を与える、光記憶媒体用の読み出し／書き込みヘッドを提供することである。

【0013】本発明のさらに他の目的は、厳しい減衰を受けず、したがって光記憶媒体上のデータの書き込み及び読み出しの両方が可能である、光記憶媒体用の読み出し／書き込みヘッドを提供することである。

【0014】本発明のさらに他の目的は、正確に整列され、プラズモン効果で増幅された透過光を提供する、光記憶媒体用の読み出し／書き込みヘッドの配列体を提供することである。

【0015】

【課題を解決するための手段】一般的に言えば、本発明により、光記憶媒体用の読み出し／書き込みヘッドが提供される。本発明の読み出し／書き込みヘッドは、端面を有する導波路と、導波路の端面に設けられたプラズモン増幅デバイスとを有す。プラズモン増幅デバイスは第1の表面及び第2の表面を有する金属膜を有し、第1の表面は導波路の端面に固定されており、金属膜は金属膜を通して設けられたアパーチャーを有する。金属膜は、金属膜の第1及び第2の表面の少なくとも一方の上に設けられた周期的な表面トポグラフィー (topography: 形

状構造)を有する。金属膜の表面の一方に入射する光は金属膜の表面の少なくとも一方での表面プラズモン・モードと相互作用し、それにより、光記憶媒体に導かれた及び／または光記憶媒体から集められ金属膜内のアパーチャーを通る透過光が、増幅される。さらに、一体の光源を有する読み出し／書き込みヘッドが提供される。

【0016】これに加え、光記憶媒体用の正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体も提供される。配列体は、それぞれ端面を有しすべての端面はほぼ同じ平面内に配置されている複数の導波路と、各導波路の端面の上にそれぞれ設けられたプラズモン増幅デバイスと、を有している。各プラズモン増幅デバイスは、第1の表面及び第2の表面を有する金属膜を有し、第1の表面は対応する導波路の端面に固定されており、金属膜は金属膜を通して設けられたアパーチャーを有する。金属膜は、金属膜の第1及び第2の表面の少なくとも一方の上に設けられた周期的な表面トポグラフィーを有する。金属膜の表面の一方の上に入射する光は、金属膜の表面の少なくとも一方での表面プラズモン・モードと相互作用し、それにより、光記憶媒体に導かれた及び／または光記憶媒体から集められた金属膜内のアパーチャーを通る透過光を増幅する。一体の光源を有する正確に整列された読み出し／書き込みヘッドの配列体も提供される。

【0017】さらに、新規の端面発光レーザ及び増幅された透過光を有する垂直共振器面発光レーザ (VCSEL: vertical cavity surface-emitting laser) も提供される。

【0018】このようにして、本発明によれば、光記憶媒体用の高解像度の読み出し／書き込みヘッドが提供される。この読み出し／書き込みヘッドは、通常、近視野光学系を利用する。特に、読み出し／書き込みヘッドには、光記憶媒体の上のピット長の短縮を可能にする、波長以下のアパーチャーが設けられる。その結果、高データ密度、及び、選択された走査速度において従来技術による光読み出し／書き込みヘッドよりも高いデータスループットを提供する。重要なことは、本発明の読み出し／書き込みヘッドにおける波長以下アパーチャーを介する透過光が、プラズモン増幅デバイス (以下「PED」とも表記する)の使用により、表面プラズモンとの相互作用により増幅されることである。読み出し／書き込みヘッドの導波路の端面は金属膜で覆われており、金属膜を通して発光(emission)モードあるいは集光(collection)モード (あるいはその両方)で、波長以下のアパーチャーが光を透過させる。増幅された光透過は、光記憶媒体の読み出しあるいは書き込みに使用される光と読み出し／書き込みヘッドの金属膜の表面上の表面プラズモンとの共鳴相互作用の結果である。共鳴は、金属膜の表面トポグラフィーの設計により、所望の波長に調整することが可能である。デバイスの分解能は、アパーチャーの直径により決定される。本発明による読み出し／書き込

みヘッドを介する透過率は、読み出し／書き込みアパーチャーの直径が光学的波長より大幅に小さいときでも、（読み出し／書き込みアパーチャーの面積に入射する電力に対して正規化した場合）1を超えることができる。

Ebbesen et al. 前掲; T. Thio et al., "Surface-Plasmon Enhanced Transmission Through Hole Arrays in Cr Films (クロム膜における孔の配列を通る表面プラズモン増幅透過)", Journal of the Optical Society of America B, Vol. 16, No. 10, pp. 1743-1748 (1999年) 参照。

【0019】

【発明の実施の形態】次に、本発明の好ましい実施の形態について、図面を参照して説明する。

【0020】図1(A)は、光記憶媒体への書き込み及び／または光記憶媒体からの読み出しのための本発明による読み出し／書き込みヘッド100を示している。本明細書において使用される「光記憶媒体」は、光を使用してデータが書き込まれ及び／または読み取られる任意の媒体を意味し、DVD及びCD-ROMのような光ディスクならびに光テープあるいは光磁気材料のような他の形式の光媒体で使用されるような相変化媒体を含むが、相変化媒体に制限されるものではない（光磁気材料の場合には、読み出しのみが光学的に行われ、書き込みは磁気的に行われる）。さらに、本明細書において使用される「読み出し／書き込みヘッド」は、光記憶媒体にデータを蓄積する（「書き込み」）及び／または光記憶媒体に蓄積されたデータを取り出す（「読み出し」）デバイスを意味する。本発明における読み出し／書き込みヘッドには、読み出しのみ、書き込みのみ、あるいは読み出し及び書き込みの両方を行うことができるものが含まれる。

【0021】図1(A)に示す読み出し／書き込みヘッド100は、導波路10及びプラズモン増幅デバイス（「PED」）20を備えている。導波路10は好ましくは光ファイバからなるが、導波路10は、半導体基板上に作られた導波路のような当該技術分野において公知の光を導くための任意の他の適切な導波路からなってもよい。導波路10は、データが読み取られ及び／またはデータが書き込まれる光記憶媒体50に、読み出し及び／または書き込みの際に近接して位置する端面12を備えている。導波路10は、読み出し／書き込みヘッド100の端面12における面積を最小にするように先細とすることができ、これは、光記憶媒体50の表面から所要の波長以下(subwavelength)距離z以内に読み出し／書き込みヘッドを維持するために望ましいことであろう。距離zはアパーチャーの直径程度とすべきであり、zはアパーチャーの直径の約1.5倍以下であることが望ましい。アパーチャーの直径の約1.5倍を超えるzの値はビームの回折を生じ、分解能が失われる。さらに、導波路端面の面積を最小限度に抑えることは、ス

キューのような効果を含む、その面積上の全体の粗さを最小限度に抑える。例えば、導波路端面の直径が500nmであれば、5mmの場合よりも、導波路端面を表面から50nm以内に保つことは、機械的に容易である。

【0022】上述のように、読み出し／書き込みヘッド100はプラズモン増幅デバイス20をも含む。プラズモン増幅デバイス20は、導波路10の端面12の上に設けられており、導波路10から光記憶媒体50に向かって光が進むか、あるいは光記憶媒体50から導波路10へ逆方向に光が進むかにかかわらず、プラズモン増幅デバイス20を通過する光の透過強度を大きくする。プラズモン増幅デバイス20は、貫通したアパーチャー30を有する好ましくは銀である金属膜22を有し、貫通したアパーチャー30の寸法がデバイスの分解能を決定する。アパーチャー30は直径dを有し、直径dはアパーチャーに入射する光の波長以下であることが好ましい（すなわち、アパーチャーは波長以下の直径を有することが望ましい）。読み出し／書き込みヘッドの分解能は、好ましくは光記憶媒体の上のピットの寸法に適合すべきである（すなわちほぼ等しくするべきである）。ピット寸法及び読み出しヘッドの両方の精密な分解能が望ましいが、このような分解能には、光記憶媒体自体の分解能や読み出し／書き込みヘッドを介して通過する光の全強度のような制限がある。実際には、読み出しに対しては、（読み出し／書き込みヘッドに多くの場合に内蔵されたデジタル信号処理プロセッサを使用して、かなりの誤り訂正が通常実行されることを念頭において、）妥当な誤り率を得るために十分なだけ信号対雑音比は高くなければならない。さらに厳しい実用上の必要条件が、書き込みのための光の強度に適用される。相変化光記憶媒体の場合には、書き込みび光強度は、媒体を局部的に融解するために（例えば、結晶質から非晶質に変化させるために）十分なだけ高い必要がある。

【0023】金属膜22には、金属膜22の2つの表面の少なくとも1つの上に、周期的な表面トポグラフィー40がさらに設けられている（2つの表面は、導波路10の端面12に隣接する第1の表面と、第1の表面に対向し光記憶媒体50に面する第2の表面である）。周期的な表面トポグラフィー40は、金属膜22の2つの表面のいずれかあるいは両方の上に設けることができるが、表面特徴40は導波路10の端面12に隣接する、金属膜22の第1の表面上にのみ設けることが望ましいと考えられている。周期的な表面トポグラフィー40は、（ほぼ平坦な表面とは対照的に）表面特徴として知られる持ち上げられた領域及び／または押し下げられた領域を有し、このような表面特徴は、周期的を有して、すなわち規則的に繰り返されるパターンでもって、配列している。表面特徴の周期性は、増幅された集束光(enhanced light collection)の波長を決定するために重要であり、1998年12月9日に出願された、Ebbesenらの米国

特許出願第09/208,116号にさらに詳細に説明されている。さらに、Gruppらの前掲を参照。周期的な表面トポグラフィー40の例は、図1(B)に示すような小さなくぼみ(dimple)あるいは半球形の突出部の正方格子配列であるか、あるいは図1(C)に示すような1組の同心の持ち上げられたかあるいは押し下げられた環である。その格子定数[図1(B)に示す場合]あるいは半径[図1(C)に示す場合]は、読み出し/書き込みヘッド100と連係して使用される読み出し/書き込み用のレーザの波長に調整される。1998年12月9日出願されたEbbesenらの米国特許出願第09/208,116号、Gruppらの前掲書、H. F. Ghahai et al., "Surface Plasmons Enhance Optical Transmission Through Subwavelength Holes (サブ波長穴を介する表面プラズモン強化光伝送)", Physical Review B, Vol. 58, No. 11, pp. 6779-6782 (1998年)を参照。上記の例示的な周期的な表面トポグラフィーは単なる実施例であり、本発明を制限するものではない。より正確に言えば、周期的な表面トポグラフィー40の他の構成も可能であり、それらは本発明に包含される。この構成によれば、金属膜の表面の一方に入射する光は、金属膜の表面の少なくとも一方での表面プラズモン・モードと相互作用し、その結果、金属膜内のアパーチャーを介する透過光を増幅する。

【0024】プラズモン増幅デバイス20内のアパーチャー30は円形であってもよいが、長方形、あるいは楕円形、あるいは光記憶媒体50のトラックピッチ及び最少ピット長に適合する他の形状でもよい。例えば、図1(D)は、全体として楕円形のスリット形状を有するアパーチャー30とともに同心の丸められた長方形の持ち上げられあるいは押し下げられた環からなる周期的な表面トポグラフィー40を有するプラズモン増幅デバイスを示している。スリットが使用され、かつスリット長(スリットの最も長い方の寸法である)がプラズモン増幅デバイス20を介して透過する光の光学的波長の2分の1より大きければ、共振及びスリット自身の内側の導波路モードも、増幅された光透過をもたらす。J. A. Porto et al., "Transmission Resonances on Metallic Gratings with Very Narrow Slits (非常に狭いスリットを有する金属格子の伝送共振)", Physical Review Letters, Vol. 83, No. 14, pp. 2845-2848 (1999年)を参照。スリット形のアパーチャーを使用する場合には、スリット幅(スリットの最も短い寸法の幅である)は、アパーチャーに入射する光の波長以下であることが望ましい(すなわち、この場合にはアパーチャーの直径となるスリット幅は、波長以下である)。さらに、読み出し速度を最大化するために、スリットの望ましい方向は、スリットの最も長い寸法方向がデータトラックに対して垂直になるような方向である。

【0025】図1(A)に示すように、必ずしも必要ではないが、プラズモン増幅デバイス20の金属膜22の

第2の表面(すなわち、金属膜22の光記憶媒体50に対向する表面)の上にオーバー・レイヤ24を設けることも望ましい。オーバー・レイヤ24は、光学的に透明な誘電体材料からなる。オーバー・レイヤ24は、読み出し/書き込みヘッド100、特にプラズモン増幅デバイス20を、光記憶媒体50の表面への衝突を原因とする損傷ないしは他の損傷から、保護することができる。さらに、オーバー・レイヤ24は、プラズモン増幅デバイス20を介するさらに増幅された光透過をもたらすことができる。具体的にいうと、導波路10の屈折率とほぼ等しい屈折率を有するオーバー・レイヤ24の材料を選択することにより、プラズモン増幅デバイスを介する全透過光がさらに増幅される。例えば、導波路10が非晶質のシリカ光ファイバであれば、導波路の屈折率とほぼ等しい屈折率を有するように、オーバー・レイヤ24も非晶質のシリカで作ることができる。実験的に、屈折率を整合したオーバー・レイヤ24によるこのさらなる増幅は、プラズモン増幅デバイス20を介する光透過をさらに10倍高めることが示されている。この効果は、1999年11月5日出願された、Kimらの米国特許出願第09/435,132号に、さらに詳細に説明されている。また、A. Krishnan et al., "Enhanced Light Transmission by Resonance Tunneling Through Subwavelength Holes (波長以下穴を介する共鳴トンネリングによる増幅された光透過)", NEC Research Institute, Inc. Technical Report, No. 99-152 (1999年)参照。さらに、オーバー・レイヤ24を構成する材料は、機械的に堅牢であることが望ましく、また、読み出し/書き込みヘッドの光記憶媒体への予期しない「衝突」(すなわち機械的接触)をしばしば伴うような温度上昇を、失敗なく吸収するのに適していることが望ましい。

【0026】本発明の読み出し/書き込みヘッド100は、発光器(light emitter)及び集光器(light collector)として作動し、したがって、当該技術分野において理解されるように、発光(emission)モード及び集光(collection)モードの両方で動作する。すなわち、読み出し/書き込みヘッドは、発光モードでは光源として作動し(したがって光記憶媒体50を照明する)、集光モードでは集光器として動作する(したがって、光記憶媒体50から放射され、光記憶媒体50により反射され、光記憶媒体50により屈折され、あるいは光記憶媒体50を介して透過した光を集める)。本発明の読み出し/書き込みヘッド100を介する光透過は、発光モード及び集光モードの両方で高く、本発明の読み出し/書き込みヘッド100は、両方のモードで同時に使用することが可能である。

【0027】図2は、光記憶媒体50の読み出しに使用される光の光路の1例を概略的に示している。ここでは、媒体の反射率の変調として、光記憶媒体50上にデータが記録されている。この説明図において、本発明の

読み出し／書き込みヘッド100は、発光モード及び集光モードの両方で同時に使用される。光源200（通常は半導体レーザであるが、本発明においては任意の光源であってよい）からの光は、通常はレンズ210を使用して、ビームスプリッタ220及びファイバ・カップラ230を介して、読み出し／書き込みヘッド100の導波路10の中へ導かれる。読み出し／書き込みヘッド100のプラズモン増幅デバイス20は、光データ記憶媒体50にごく近接して走査される。光データ記憶媒体50は、プラズモン増幅デバイス20を介して透過してきた光を反射し、次に反射された光は、同じ装置により集められる。すなわち、反射光は、まずプラズモン増幅デバイス20を介して集められ、次に導波路10を介して伝送され、次にビームスプリッタ220を通過しさらに通常は集束レンズ240を通過した後に、検出器250により集められる。（当該技術分野において知られているように、光を導くために光ファイバ導波路を使用することにより、レンズ210、230、240を省略することが可能である。）当該技術分野において知られているように、検出器の出力は、通常、デジタル信号処理ユニット（図示せず）に供給される。

【0028】データ転送速度をさらに向上するために、読み出し／書き込みヘッド100の配列体を使用してもよい。その結果、ここでNを配列体内の読み出し／書き込みヘッドの数として、データ転送速度はN倍に増加する。読み出し／書き込みヘッドの配列体は、別の光記憶技術である光テープと連係させて使用した場合に、極めて有用である。光テープでは、データは、テープの長さ方向に通常は垂直であるトラックに書き込まれる。データは、テープに沿って（しかも極めて接近して）読み出し／書き込みヘッドを走査することにより、読み出されあるいは書き込まれる。W. S. Oakley, "A Novel Digital Optical Tape Recorder (新規のデジタル光テープレコーダ)", Proceedings of the SPIE, Vol. 2604, p. 256-262 (1996年)参照。読み出し／書き込みヘッドの1次元配列体は、読み出し及び書き込み速度を改善し、（例えば光テープの場合に）横方向の動きが不要となるので、ヘッドの位置決めのための制御機構の機械的設計を著しく単純化する。実際には、Nは読み出し／書き込みヘッド配列体の機械的必要条件により制限される。従来技術によるデバイスでは、最大の難問は、すべてのN個の読み出し／書き込みヘッドを光記憶媒体の表面から距離 $z \leq z_{\max}$ （図2参照）内に維持することであり、ここで z_{\max} は、ピット長（典型的には50 nm）程度である。参考までに、磁気記録媒体の読み出しのために使用される浮上ヘッド(flyhead)は、磁気記録媒体の上に30 nmの距離をおいて位置している。この距離は、まもなく、より新しい技術により約10 nmにまで減少される可能性がある。また接触スライダ磁気ヘッド(contact slider magnetic head)を使用して約5 n

mの距離を使用する方式の提案がされている。従来技術によるデバイスは、先細の光ファイバを配列したものを利用しようと試みており、これはその先細の端部を正確に整列する必要がある。1本1本が別々の光ファイバ端部をこのように正確に整列させることの難点は、無視できない。

【0029】読み出し／書き込みヘッドの配列体を使用するとき、複数の読み出し／書き込みヘッドを相互に整列させることはさらに重要である。読み出し／書き込みヘッドの配列体を半導体ウエハの上に作製することにより、この問題には対処できる。参考文献として本明細書に包含されるSolinらへの米国特許第5,646,051号明細書参照。

【0030】図3(A)は、単一の半導体ウエハから形成された読み出し／書き込みヘッド100のこのような1次元配列体300を示す。導波路10は、当業者にはよく知られた方法で、光学的リソグラフィーにより半導体ウエハから作製される。導波路は高さhであって、この高さhは、導波路を介して進む光の波長の少なくとも約半分（すなわち $\lambda/2$ ）であることが望ましいが、当該技術分野において公知であるように、導波路と周囲の媒体（例えば空気）の間の屈折率の差にも依存する。光記憶媒体上のデータトラックを照明するためのレーザダイオード（図示せず）及び読み出し／書き込みヘッド自体は、当該技術分野において公知であるように、完全にモノリシックな設計のために、同じ半導体ウエハの上に作製することが可能である。完全にモノリシックな設計によれば、他の方法においては難度の高い作業であるレーザと導波路のアライメントを不要にする。導波路面12を劈開することは、原子レベルでの滑らかさをもたらす。劈開された導波路端面12の各々の上に、望ましくは銀である金属膜22が蒸着あるいはスパッタされ、引き続いて、上述のように周期的な表面トポグラフィー40を有するようにパターニングされる。各導波路10の軸の中心に、それぞれ、金属膜22を貫通する単一のアパーチャー30が設けられており、これにより、複数のプラズモン増幅デバイス20を形成している。各プラズモン増幅デバイス20は、それぞれ1つの導波路10に位置決めされている。図3(A)においてアパーチャー30は円形であるように示されているが、上述のように、他の幾何学的形状が望ましいこともある。読み出し／書き込みヘッド配列体300は、金属膜22の外部表面とその上に形成されたプラズモン増幅デバイス20を有する配列体面310を含んでいる。配列体面310において、プラズモン増幅デバイス20は、相互に平行であって、ディスク上のトラックのピッチ ΔR と等しい距離だけすぐ隣りに隣接するPEDと間隔をおいて配置されている。このような読み出し／書き込みヘッド配列体300を使用することにより、複数の光ビーム I_1, I_2, \dots, I_N を、配列体内の読み出し／書き込みヘッ

ド100ごとに1つの光ビームずつ、配列体300を通して伝送することができる。

【0031】図3(B)は、導波路10の1つの長手軸における、図3(A)の読み出し／書き込みヘッド配列体300の断面図である。このデバイスは、上述のように、読み出し／書き込みヘッドを保護しかつプラズモン増幅デバイス20を介する透過をさらに増幅するために、オーバー・レイヤ24によって被覆されている。したがって、オーバー・レイヤ24は、非常に硬いことが望ましく、その上に金属膜が堆積される材料（この場合は、導波路10自体）の屈折率とほぼ等しい屈折率を有することが望ましい。所望であれば、導波路10と金属膜22の間に中間材(intervening material)を使用してもよい。読み出し／書き込みヘッド配列体300が接触スライダ・ヘッドとして使用されるのであれば、（接触部分における反射を最小限度に抑えるように）オーバー・レイヤ24が存在する場合にはオーバー・レイヤ24の屈折率に一致するか、あるいは（オーバー・レイヤ24が存在しない場合には上述のように透過光をさらに増幅するように）導波路10の屈折率に一致するか、滑り動作に必要ないずれかの適切な屈折率を有する潤滑材が選択されるべきである。配列体面310の付近の下側基板25をエッチングすることは、読み出しヘッドを媒体の近視野距離内に維持することを容易にするため面の全面積を最小限度に抑えるために、望ましいことがある。

【0032】図3(A)及び(B)に示す読み出し／書き込みヘッドの1次元配列体構成において、プラズモン増幅デバイス間の中心間の距離が(CD-ROMあるいはDVDのような現行の光記憶媒体のトラックピッチを反映して) $\Delta R = 1.6 \mu\text{m}$ であれば、隣接する読み出し／書き込みヘッドの間にクロストークはないであろう。表面特徴に対するプラズモン増幅デバイスのアパーチャの位置がその試料の幅にわたって変化するような試料では、試料を通した透過光はそれに応じて $2 \mu\text{m}$ の長さにわたって変化し、透過光増幅の高度に局所的な性質を明示する。1998年12月9日出願のEbbesenらの米国特許出願第09/208,116号参照。さらに、最近接の表面特徴（例えば小さなくぼみ(dimple)）の1つあるいは2つの「シェル(shell)」のみで、十分な透過光増幅を得るのに十分であることが明らかにされた。Thioらの前掲書を参照。用語「シェル」は、固体物理学の分野において良く知られている。各シェルは、アパーチャから同じ距離に位置する一群の表面特徴からなる。例えば、正方形の配列に対して、1番目のシェルは、最も近い隣接表面特徴（この場合、4つの表面特徴は正方形の頂点を構成している）からなる。2番目のシェルは、次に最も近い隣接表面特徴（この場合、4つの表面特徴は対角線上にある）からなる。以下、同様である。例えば、赤色レーザー ($\lambda = 635 \text{ nm}$) が、円形のアパーチャ、及び導

波路に隣接する金属膜の表面の上に設けられた表面特徴としての小さなくぼみとともに使用されるのであれば、アパーチャと各プラズモン増幅デバイス内の隣接する表面特徴（この場合は小さなくぼみ）の間の距離は、約 $(600/n) [\text{nm}]$ とするべきである。ここで、 n は、金属膜22の上の表面特徴に隣接する誘電材料（例えば、表面特徴が金属膜22のオーバー・レイヤ24の側にあれば、オーバー・レイヤ24）の屈折率である。これは、直接隣接する2つの円形のアパーチャの間の中点まで $0.8 \mu\text{m}$ の距離内に、収容されることができる。導波路の屈折率を考慮すると、隣接表面特徴のいくつかのシェルを各アパーチャの周りに収容することができるように、小さなくぼみの周期は $0.2 \mu\text{m}$ とするべきである。クロストークをさらに減少させるために、1998年12月9日出願されたEbbesenらの米国特許出願第09/208,116号に説明するように、アパーチャを異なる波長、例えば 635 nm 及び 830 nm に対して交互に最適化することが可能である。

【0033】波長以下アパーチャの配列体と、したがって読み出し／書き込みヘッドの配列体を作製するための別の幾何学的形状は、半導体ウエハの上に作製された切頭体構造の配列体である。図4に示すように、シリコンあるいはGaAs（ガリウムヒ素）ウエハのような光学的に透明な半導体ウエハ80をエッチングして（当該技術分野において公知の異方性エッチングを使用することが望ましい）、1つ以上の切頭体構造90を作る。切頭体構造の1つ1つが、読み出し／書き込みヘッドのための導波路として作用する。これらの切頭体構造は、一般に、頂点を有しない角錐状の構造であると考えることができる。各切頭体構造90は、図示するようにその上にプラズモン増幅デバイスが設けられることとなるほぼ平坦な頂面92と、ベース94と、複数のファセット96とを含んでいる。

【0034】切頭体構造は、正方形のベース（したがって4つのファセット）を有することが望ましいが、他の切頭体ベース形状（例えば、三角形、その場合切頭体は3つのファセットを有する）を使用することも可能である。これらの切頭体構造は、切頭体が角錐であり角錐の頂点が存在していればその角錐の頂点があるであろう位置のすぐ下の高さの位置に、切頭体構造のベース上に平面波で入射する透過光（図4の例における光ビーム I_1 及び I_2 により示すような光）を集束することが、明らかにされている。切頭体はその高さで終端され、切頭体のベースに入射する光（例えば、切頭体の下に作られるVCSELからの光）に対して高いスループットが与えられる。図に示すように、各切頭体構造の頂面上にプラズモン増幅デバイス20を設けることにより、上述と同様にして、高いスループットはさらに増強される。このようなデバイスの分解能は、プラズモン増幅デバイスの金属層内のアパーチャ30の寸法により決定される。

このような切頭体構造の配列体は、直截的な方法で作製することができる。光源が、Heisigらにより最近示されたように、切頭体の下方に作製することができる垂直共振器面発光レーザ（VCSEL: vertical cavity surface-emitting laser、以下参照）の配列体である場合に、これは特に有用である。S. Heisig et al., "Optical Active Gallium Arsenide Cantilever Probes for Combined Scanning Near-Field Optical Microscopy and Scanning Force Microscopy (複合走査近視野光学顕微鏡法及び走査力顕微鏡法用の光学的に活性的なガリウムヒ素カンチレバープローブ)", Journal Vac. Sci. Technology B, Vol. 18, No. 3 pp. 1134-1137 (2000); S. Heisig et al., "Gallium Arsenide Probes for Scanning Near-Field Probe Microscopy (走査近視野プローブ顕微鏡法用のガリウムヒ素プローブ)", Applied Physics A, Vol. 66, pp. S385-S390 (1998年)を参照。

【0035】一般的には、高屈折率の半導体の角錐状の構造は、そのベース上に入射する光を、まさしく頂点のわずかに下の位置に集中させることが知られている。K. Iga, "Surface Emitting Laser (面発光レーザ)", Electronics and Communications in Japan, Part 2, Vol. 82, No. 10, pp. 70-82 (1999年); K. Goto, "Proposal of Ultrahigh Density Optical Disk System Using a Vertical Cavity Surface Laser Array (垂直共振器面発光レーザ・アレイを使用する超高密度光ディスク装置の提案)", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 37, Part 1, No. 4B, pp. 2274-2278 (1998年); Y. -J. Kim et al., "Fabrication of Micro-Pyramidal Probe Array with Aperture for Near-Field Optical Memory Application (近視野光メモリ応用のためのアパーチャーを有するマイクロ・ピラミッド状プローブ・アレイの製作)", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 39, Part 1, No. 3B, pp. 1538-1541 (2000年)を参照。本発明において、高い解像度を保ちながら可能な最高のスループットを得るためには、光の強度が最も高い位置に頂面92が設けられるように、各切頭体構造90が作られることが望ましい。プラズモン増幅デバイス20は、上述のように読み出し／書き込みヘッドの所望の分解能に適合する波長以下アパーチャー30を備え、その頂面上に設けられる。この複数チャネルのデバイスは、優れた高さの均一性（すなわち、平坦な頂面92が位置する高さにおいて）で切頭体構造を作製できる利点を有し、したがって、このような均一性に対して最も厳しい条件を有する接触スライダ・ヘッドに使用するのにも適している。

【0036】本発明により構成された読み出し／書き込みヘッドの配列体は、このように、各ヘッドごとに読み出し及び書き込みの両方が可能であり、これは著しい利点である。通常は、独立した読み出しヘッド及び書き込みヘッドは不要であり、したがって、独立した読み出し

ヘッド及び書き込みヘッドを整列させることに関連する難点を解消する。光ファイバ導波路を使用して作製された本発明の読み出し／書き込みヘッドに対して、入力電力100mW、ファイバ・コアの直径3~4 μ mにおいて、特に、透過光をさらに強化するために上述のように屈折率を整合させた誘電体オーバー・レイヤ24が使用されているのであれば、光媒体に対する現行の書き込みヘッドで使用される電力密度に匹敵する約10¹⁰W/m²の出力電力密度を得ることが可能である。光がより小さい面積の中に閉じ込められその結果として電力密度が増加するように、より小さいコアを有する導波路用光ファイバを使用することにより、あるいは、光ファイバあるいは他の導波路の端部をわずかに先細にすることにより、出力電力密度をさらに高めることが可能である。上述のように、半導体内の切頭体構造は、光強度を出力面に集中するためにも使用することができる。

【0037】図1乃至図3に示すように、ある種の応用分野においては、光源あるいは検出器から独立している読み出し／書き込みヘッドを使用することは都合が良いが、他のある種の応用分野においては、光源が読み出し／書き込みヘッドと一体の部品であることは、有利なことがある。この非常に緊密な構成を実現する1つの方法は、半導体レーザの出力鏡内にピンホール・アパーチャーを作製したPartoviらにより示された構成を利用することである。A. Partovi et al., "High-Power Laser Light Source for Near-Field Optics and its Application to High-Density Optical Data Storage (近視野光学系用の大パワーレーザ光源及び高密度光データ記憶へのその応用)", Applied Physics Letters, Vol. 75, No. 11, pp. 1515-1517 (1999年)を参照。アパーチャーの直径は、光学的波長を十分下回るように選ぶことができる。出力鏡の材質が金属であれば、波長以下の径の出力アパーチャーを介する透過は非常に小さく、出力直径dが減少すると、(d/ λ)の4乗にはほぼ比例して減少すると予想される。ここで λ は、光学的波長である。H. A. Bethe, Physical Review, Vol. 66, Nos. 7 and 8, pp. 163-182 (1944年)を参照。本発明によれば、このようなレーザの出力結合は、出力アパーチャーを介する表面プラズモン増幅透過を使用することにより、大幅に増強することが可能である。

【0038】図5は、後部鏡62及び前方の出力鏡64により画定された共振器（キャビティ）を含む、本発明に基づいて構成されたレーザ60を概略的に示す。出力鏡64において、アパーチャー30は、非常に高い解像度でレーザ光が結合することを可能にする。レーザの一般的な構造及び動作は当該技術分野において公知である。しかし、本発明においては、出力アパーチャーから出射する光の透過効率を高めるプラズモン増幅デバイスを作るために、出力鏡のレーザとの界面に周期的な表面トポグラフィー40を設けている。周期的な表面トポグ

ラフィーにおける表面特徴の周期性は、表面プラズモンの分散と周期的な表面トポグラフィーへの格子結合 (grating coupling) に応じて、レーザの波長に適合するように選択されるべきである。Ghaemiらの前掲書を参照。

レーザ自体は、任意の従来のレーザを含む任意のレーザでよい。例えば、レーザは、共振器鏡の1つが波長以下の出力アパーチャーを有する、(Ar, N₂, CO₂, He-Neのような) ガスレーザでよい。ここで、波長以下の出力アパーチャーにはそれを取り囲む周期的な表面トポグラフィーが付随している。別の可能なレーザとしては、同様に改良された出力カプラを有する、(ルビー、YAG (イットリウム・アルミニウム・ガーネット)、Ti:サファイアのような) 固体レーザであり、ここでは出力カプラは利得媒体 (gain medium) の面上に直接作製することができる。レーザは、後方鏡 (back mirror) がファイバ格子からなっているいてもよいファイバレーザでも良い。どのようなレーザも本発明に包含される。なお、光源が読み出し/書き込みヘッドと一体の部品であるこれらの実施の形態においては、光源は、光記憶媒体に書き込むため、あるいは光記憶媒体を照明するためのいずれにも使用することが可能である。したがって、このような照明からの反射あるいは屈折された光は、光記憶媒体のどちらの側に位置してもよい集光器によって、あるいは複合された光源及び検出器として、集めることができる。検出器あるいは集光器は、近視野モードあるいは遠視野モードのいずれで動作してもよい。

【0039】本発明の読み出し/書き込みヘッドのために最も望ましいレーザは、半導体レーザである。半導体レーザは、(例えば、図5に示すように) 端面発光でもよい。その場合、光はヘテロ接合あるいは量子井戸66に対してz方向に閉じ込められる。さらにいっそう魅力的な代案は、図6(A)に示す垂直共振器面発光レーザ

(VCSEL: vertical cavity surface emitting laser) である。一般的には、VCSEL共振器は、当業者には公知のように、レーザ波長に適合した構造を有するGaAs/AlGaAs多重層からなる2つの分布ブラッグ反射器 (DBR: distributed Bragg reflector) 70により画定される。高スループットを有する波長以下の分解能を得るためには (図6(B)参照)、前方側のDBR70を、金属膜リフレクタ22を有するプラズモン増幅デバイス20に置換してもよい。この金属膜リフレクタ22には、周期的な表面トポグラフィー40により囲まれた波長以下の直径のアパーチャー30が作製される (図6(B), (C)参照)。VCSELの非常に魅力的な特徴は、大きい配列体の製造が簡単なことである。図6(D)は、各出力に増幅透過波長以下のアパーチャーを有するプラズモン増幅デバイスを設けたVCSEL配列体の平面図を示す。VCSEL間の間隔に対する配慮は、実際にはVCSEL配列体のすべての素子が同じ波長で動作し、各VCSELの横方向の寸法につ

いての必要条件により間隔が制限されるおそれがあることを除き、読み出し/書き込みヘッド配列体 (図3参照) について上述したものと同じである。

【0040】特定の用途で使用するための増幅された光透過を有するさまざまな種類の光記憶媒体用読み出し/書き込みヘッドについて説明し例示したが、ここに添付する特許請求の範囲によってのみ制限されるべきである本発明の技術思想と広範囲の教示を逸脱せずに、変形及び修正が可能であることは当業者には明白であろう。

【0041】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、波長以下のアパーチャと周期的な表面トポグラフィーとを有する金属膜を有するプラズモン増幅デバイスを使用し、表面プラズモンとの相互作用によりアパーチャーを通る透過光が増幅されるようにすることにより、短いビット長寸法を備え、高データ密度と高速の読み出し/書き込み速度をもたらす、厳しい減衰を受けず、相変媒体のような光記憶媒体上のデータの書き込み及び読み出しとともに可能にする、近視野光学系を用いる読み出し/書き込みヘッドが得られる、という効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】(A)は、端面に作られたプラズモン増幅デバイスを有する先細の光ファイバを備える本発明の読み出し/書き込みヘッドの断面図 (必ずしも正確な縮尺ではない) である。(B)は、本発明の読み出し/書き込みヘッドに有用なプラズモン増幅デバイスの第1の形態の平面図であり、プラズモン増幅デバイスは、単一の波長以下円形アパーチャーを取り囲んでいる、小さなくぼみからなる正方格子配列を有する表面トポグラフィーを有する。(C)は、本発明の読み出し/書き込みヘッドに有用なプラズモン増幅デバイスの第2の形態の平面図であり、プラズモン増幅デバイスは単一の波長以下の円形アパーチャーを取り囲んでいる小さなくぼみ (溝) の同心の環を有する表面トポグラフィーを有する。(D)は、本発明の読み出し/書き込みヘッドに有用なプラズモン増幅デバイスの第3の形態の平面図であり、プラズモン増幅デバイスは、波長以下のスリットを取り囲んでいる溝パターンを有する表面トポグラフィーを有する。

【図2】本発明の読み出し/書き込みヘッドのための光路の一例の該略図である。

【図3】(A)は、本発明により単一のウエハ上にモノリシックに作製された読み出し/書き込みヘッドの配列体の、部分的に破断図で示された、斜視図である。(B)は、導波路の1つの縦軸を通して見た図3(A)のデバイスの断面図である。

【図4】本発明による、半導体ウエハから作製された複数の切頭体構造で構成された読み出し/書き込みヘッドの配列体の断面図であり、読み出し/書き込みヘッドのそれぞれはプラズモン増幅デバイスを備えている。

【図5】表面プラズモン増幅透過を示す小さいアパーチ

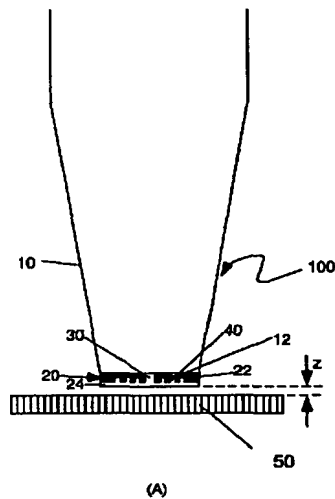
25

ャーを有する共振器鏡を有する、本発明により作られたレーザの断面図である。

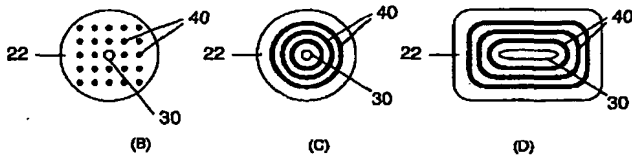
【図6】(A)は、分布ブラッグ反射器(DBR:distributed Bragg reflector)により画定された共振器を有する従来の垂直共振器面発光レーザ(VCSEL:vertical cavity surface emitting laser)の断面図である。(B)は、本発明により構成された改良されたVCSELの断面図であり、VCSELは増幅透過波長以下のアパーチャーを有する出力カプラーを有する。(C)は、図6(B)の改良されたVCSELの平面図であ

10

【図1】



(A)

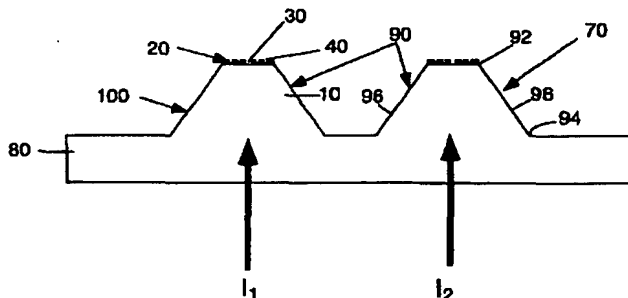


(B)

(C)

(D)

【図4】

 I_1 I_2

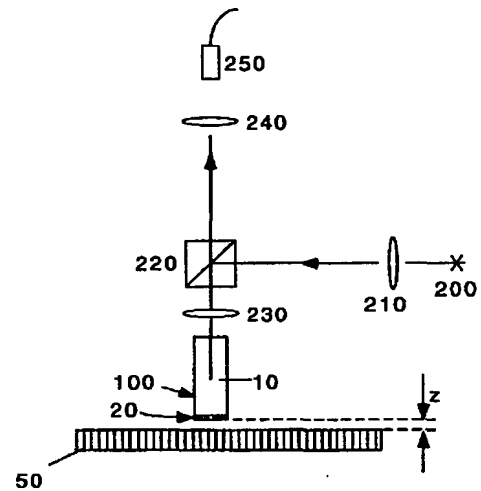
26

を示す。(D)は、本発明により構成された改良されたVCSELの配列体の平面図である。

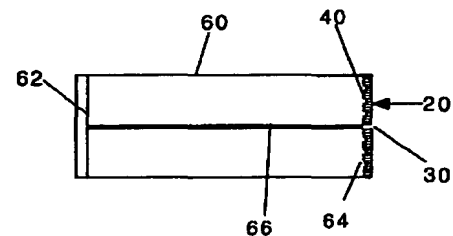
【符号の説明】

- 10 導波路
- 12 端面
- 20 プラズモン増幅デバイス(PED)
- 22 金属膜
- 24 オーバー・レイヤ
- 30 アパーチャー
- 50 記憶媒体
- 100 読み出し/書き込みヘッド

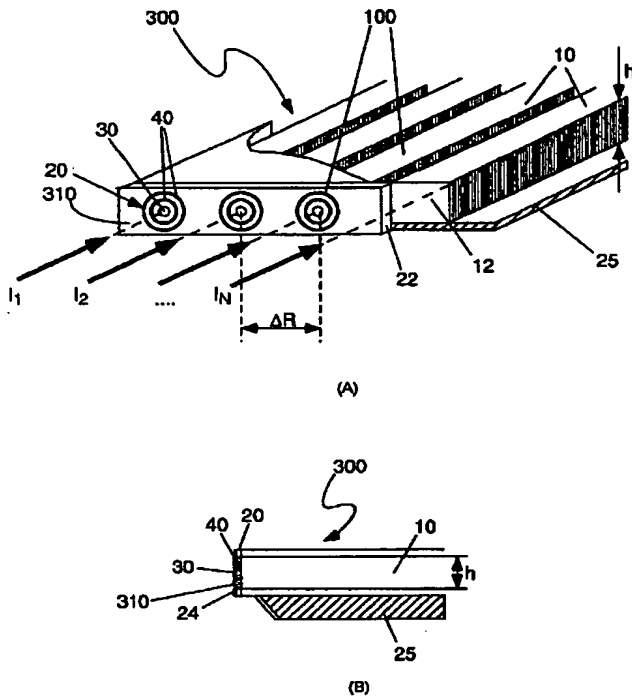
【図2】



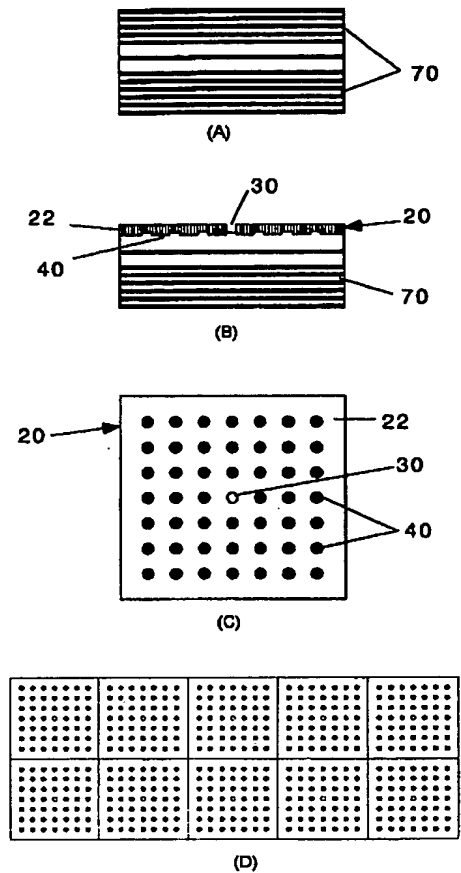
【図5】



【図3】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 テュニカ・ティオ
アメリカ合衆国、 ニュージャージー
08540、 プリンストン、 インディペン
デンス ウェイ 4 エヌ・イー・シー・
リサーチ・インスティテューテュ・インク
内

(72)発明者 リチャード・エイ・リンケ
アメリカ合衆国、 ニュージャージー
08540、 プリンストン、 インディペン
デンス ウェイ 4 エヌ・イー・シー・
リサーチ・インスティテューテュ・インク
内

(72)発明者 トーマス・ダブリュ・エブソン
アメリカ合衆国、 ニュージャージー
08540、 プリンストン、 インディペン
デンス ウェイ 4 エヌ・イー・シー・
リサーチ・インスティテューテュ・インク
内

(72)発明者 ヘンリー・ジェイ・レゼック
アメリカ合衆国、 ニュージャージー
08540、 プリンストン、 インディペン
デンス ウェイ 4 エヌ・イー・シー・
リサーチ・インスティテューテュ・インク
内